

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI PEMBEBANAN TERHADAP KEAUSAN

FASE *RUNNING-IN*

PADA SISTEM *ROLLING SLIDING CONTACT*

Diajukan Sebagai Salah Satu Tugas dan Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana (S-1)



Disusun oleh:

IMAM MUSTHOFA

L2E007047

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2011

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Imam Musthofa

NIM : L2E007047

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Jangka Waktu : 9 (Sembilan) bulan

Judul : **Pengaruh variasi pembebanan terhadap keausan fase *running-in* pada sistem *rolling sliding contact***

Isi Tugas :

1. Pemodelan terjadinya keausan dengan metode *load sharing concept*.
2. Prediksi keausan fase *running-in* pada kontak *rolling sliding*.
3. Pengaruh variasi pembebanan terhadap *running-in* pada kontak *rolling sliding*.

Dosen Pembimbing,




Dr. Jamari, ST, MT  
NIP. 197403042000121001

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Imam Musthofa

NIM : L2E007047

Tanda Tangan : 

Tanggal : Desember 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Imam Musthofa

NIM : L2E007047

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh variasi pembebanan terhadap keausan fase  
*running-in* pada sistem *rolling sliding contact*

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.**

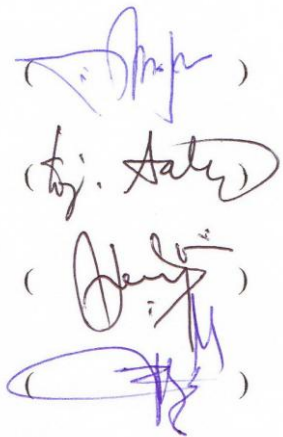
### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Penguji : Ir. Djoeli Satrijo, MT

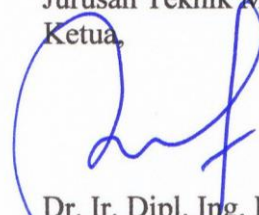
Penguji : Dr. MSK Tony Suryo Utomo, ST, MT

Penguji : Dr. Achmad Widodo, ST, MT



Semarang, 20 Desember 2011

Jurusan Teknik Mesin  
Ketua,



Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK  
NIP. 1959072219870310003

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : IMAM MUSTHOFA  
NIM : L2E007047  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### PENGARUH VARIASI PEMBEBANAN TERHADAP KEAUSAN FASE *RUNNING-IN* PADA SISTEM *ROLLING SLIDING CONTACT*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : Desember 2011

Yang menyatakan



Imam Musthofa  
NIM. L2E007047

## **HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

**Segala yang kita lakukan akan memberikan dampak terhadap diri kita sendiri. Oleh karena itu, lakukan yang terbaik.**

### **PERSEMBAHAN**

**Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:**

- ❖ Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya.**
- ❖ Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan baik moral maupun material.**
- ❖ Kakak dan adikku tersayang atas dukungannya.**

## ABSTRAK

Dalam kehidupan sehari-hari manusia sering menggunakan peralatan mekanik, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri. Ketika peralatan mekanik bekerja, terjadi kontak antara komponen-komponennya. Komponen yang saling bersinggungan (kontak) akan mengalami keausan. Salah satu cara yang digunakan untuk mengurangi keausan yang terjadi adalah memberikan pelumasan pada permukaan komponen yang saling berkontak.

Keausan dapat diprediksi dengan beberapa cara, dengan metode eksperimen skala laboratorium. Akan tetapi, metode eksperimen ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Pendekatan lain adalah pendekatan oleh Wang dkk dengan model PEHL. Dan pendekatan Akbarzadeh dengan metode *load sharing concept*. Dalam hal ini penulis mengembangkan suatu model baru "*present model*" untuk kasus *line contact* yang dikombinasikan dengan *load sharing concept* untuk memprediksi keausan pada *mixed lubrication*.

*Present model* dapat digunakan untuk memprediksi keausan karena hasil *present model* mendekati hasil eksperimen dan perhitungan yang dikembangkan oleh Akbarzadeh. Selanjutnya dilakukan variasi pembebanan dengan *present model*. Hasil dari *present model* pada variasi pembebanan 30 N, 40 N, dan 60 N pada kasus 1 berturut-turut adalah nilai  $\Delta Ra$  0,0681  $\mu m$ , 0,1275  $\mu m$ , dan 0,1979  $\mu m$ , sedangkan pada kasus 2 berturut-turut adalah nilai  $\Delta Ra$  0,3335  $\mu m$ , 0,4589  $\mu m$ , dan 0,6076  $\mu m$ . Dengan variasi pembebanan 30 N, 40 N, dan 60 N pada kasus 1, persentase beban yang diterima *asperity* pada awal fase *running-in* berturut-turut adalah 5 %, 8,5 %, dan 11 %, sedangkan pada kasus 2 adalah 12 %, 15 %, dan 16 %.

Dengan menggunakan *present model* dapat dilakukan prediksi keausan. Meningkatnya beban yang diberikan akan mengakibatkan meningkatnya perubahan *surface roughness* ( $\Delta Ra$ ). Kenaikan beban yang diberikan akan menimbulkan persentase kenaikan beban yang diterima *asperity* dan penurunan persentase beban yang diterima pelumas pada awal fase *running-in*.

Kata kunci: keausan, *line contact*, *load sharing concept*, *mixed lubrication*

## ABSTRACT

*People often use mechanical equipment everyday, either for household or industrial needs. When mechanical equipment work, there is contact between the components. The components contact will experience wear. A method used to reduce the wear that occurs is provide lubrication to the surface components in contact with each other.*

*Wear can be predicted by several ways, such as with methods of laboratory-scale experiments. However, this experimental method requires a lot of cost. Another approach is the approach by Wang et al PEHL model. Akbarzadeh developed load sharing concept method. In this case the authors developed a new model "present model" for the case of line contact, combined with the load sharing concept to predict wear in mixed lubrication.*

*Present model can be used to predict wear because the results of present model are close to the experiment and the calculation developed by Akbarzadeh. Then applied a variation of load to present model calculation. The results of the present model on the variation of load of 30 N, 40 N, and 60 N in case 1 is the value of  $\Delta Ra$  0.0681  $\mu m$ , 0.1275  $\mu m$ , and 0.1979  $\mu m$ , respectively. The results of case 2 is the change of  $\Delta Ra$  0.3335 $\mu m$ , 0.4589 $\mu m$ , and 0.6076 $\mu m$ . The effect of variation of load of 30 N, 40 N, and 60 N in case 1, the percentage load carried by asperity at the initial running-in is 5%, 8.5%, and 12%, whereas in case 2 is 12%, 15%, and 16%, respectively.*

*Present model can be used to predict wear. Given the increased load will result in increased surface roughness changes ( $\Delta Ra$ ). The increase of load will cause in increase percentage load carried by asperity and decrease in the percentage load carried by lubricant at initial running-in.*

*Keywords: wear, line contact, load sharing concept, mixed lubrication*



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Jamari, ST, MT, selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana yang selalu memberikan bimbingan dan arahan baik dalam penelitian maupun penulisan laporan Tugas Sarjana.
2. Bapak Rifky Ismail, ST, MT, dan Bapak M. Tauviquirrahman, ST, MT, selaku dosen pembimbing dari LAB. EDT.
3. Teman-teman seperjuangan Lab. EDT (Engineering Design and Tribology).
4. Teman-teman Teknik Mesin 2007.
5. Semua pihak yang telah membantu tersusunnya laporan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa dalam menyusun laporan ini terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan dan kemajuan Penulis dimasa yang akan datang sangat diharapkan. Akhir kata Penulis berharap semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, Oktober 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN ABSTRAK.....	vii
HALAMAN KATA PENGANTAR .....	xi
HALAMAN DAFTAR ISI .....	x
HALAMAN DAFTAR GAMBAR.....	xiii
HALAMAN DAFTAR TABEL .....	xv
NOMENKLATUR.....	xvi
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar belakang .....	1
1.2. Tujuan penulisan .....	3
1.3. Pembatasan masalah.....	3
1.4. Metode penelitian .....	3
1.5. Sistematika penulisan .....	5
BAB II    TEORI <i>RUNNING-IN</i> PADA KONTAK <i>ROLLING SLIDING</i> .....	6
2.1. Pengertian <i>running-in</i> .....	6
2.2. Faktor <i>running-in</i> .....	8
2.2.1. Faktor pembebanan.....	9
2.2.2. Faktor kecepatan.....	9
2.2.3. Faktor sifat mekanis material .....	9

2.2.4. Faktor kekasaran permukaan awal.....	9
2.2.5. Faktor topografi permukaan .....	10
2.3. Kontak <i>rolling</i> , <i>sliding</i> , dan <i>rolling sliding</i> .....	10
2.3.1. Kontak <i>rolling</i> .....	11
2.3.2. Kontak <i>sliding</i> .....	12
2.3.3. Kontak <i>rolling sliding</i> .....	13
2.4. Keausan ( <i>wear</i> ) pada kontak <i>rolling sliding</i> .....	15
2.5. Jenis kontak berpelumas.....	16
2.5.1. <i>Hydrodynamic lubrication</i> (HL) .....	17
2.5.2. <i>Mixed lubrication</i> (ML).....	18
2.5.3. <i>Boundary lubrication</i> (BL).....	18
2.6. Geometri kontak .....	19
 BAB III PEMODELAN DAN PERHITUNGAN KEAUSAN PADA KONTAK BERPELUMAS .....	 20
3.1. Pemodelan keausan .....	20
3.1.1. Model PEHL Wang .....	20
3.1.2. Metode <i>load sharing concept</i> Akbarzadeh .....	23
3.1.3. <i>Present model</i> .....	26
3.2. Perhitungan keausan dengan <i>load sharing concept</i> .....	27
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	 33
4.1 Verifikasi hasil perhitungan <i>present model</i> .....	33
4.1.1 Perubahan <i>surface roughness</i> selama fase <i>running-in</i> .....	34
4.1.2 Perubahan distribusi beban selama fase <i>running-in</i> .....	35
4.2 Prediksi keausan dengan variasi pembebanan.....	36
4.2.1 Variasi pembebanan pada kasus 1.....	37
4.2.2 Variasi pembebanan pada kasus 2.....	39

BAB V PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	42
LAMPIRAN .....	44
A. Kode C++ .....	44
B. Kode MATLAB .....	50
C. Jurnal validasi.....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh komponen-komponen permesinan mengalami kontak: (a) roda gigi (b) piston dan silinder, (c) rantai dan <i>sprocket</i> . ....	1
Gambar 1.2	Permukaan suatu komponen dan <i>asperity</i> .....	2
Gambar 1.3	<i>Flowchart</i> penelitian.....	4
Gambar 2.1	Skema perilaku keausan terhadap waktu, jumlah <i>overrolling</i> atau jarak <i>sliding</i> .....	6
Gambar 2.2	Kondisi suatu permukaan yang diperbesar.....	7
Gambar 2.3	Pengaruh <i>running-in</i> terhadap topografi permukaan.....	8
Gambar 2.4	Perbedaan <i>surface pattern</i> (a) <i>transverse</i> (b) <i>isotropic</i> dan (c) <i>longitudinal</i> . ....	10
Gambar 2.5	Kontak permukaan <i>non-conform</i> di titik O .....	11
Gambar 2.6	Kontak <i>rolling</i> . ....	12
Gambar 2.7	Kontak <i>sliding</i> .....	12
Gambar 2.8	Kontak <i>rolling sliding</i> .....	13
Gambar 2.9	Perubahan bentuk <i>asperity</i> akibat deformasi plastis (a) kondisi awal (b) deformasi akibat gerak <i>rolling</i> .....	16
Gambar 2.10	<i>Abrasive wear</i> akibat gerak <i>sliding</i> .....	16
Gambar 2.11	<i>Hidrodynamic lubrication</i> .....	17
Gambar 2.12	<i>Mixed lubrication</i> .....	18
Gambar 2.13	<i>Boundary lubrication</i> .....	18
Gambar 2.14	Berbagai tipe geometri kontak (a) <i>line contact</i> , (b) <i>circular contact</i> , (c) <i>elliptical contact</i> .....	19
Gambar 3.1	Skema model keausan PEHL .....	21
Gambar 3.2	Alur perhitungan perubahan <i>surface roughness</i> pada model PEHL.....	22
Gambar 3.3	Skema kontak antara dua roller .....	23
Gambar 3.4	Skema kontak pada <i>asperity</i> .....	24
Gambar 3.5	Alur perhitungan perubahan <i>surface roughness</i> pada model keausan	

	pada model keausan dengan <i>load sharing concept</i> .....	25
Gambar 3.6	Kontak antara dua roda gigi dimodelkan sebagai kontak antara dua silinder .....	26
Gambar 3.7	Definisi <i>summit</i> .....	27
Gambar 3.8	Skema kontak <i>asperity</i> (a) sebelum kontak (b) setelah deformasi plastis.....	28
Gambar 4.1	Grafik perubahan <i>Ra</i> selama fase <i>running-in</i> .....	34
Gambar 4.2	Grafik perubahan beban selama fase <i>running-in</i> .....	36
Gambar 4.3	Grafik perubahan <i>surface roughness</i> dengan kondisi pembebanan yang berbeda pada kasus 1 .....	37
Gambar 4.4	Grafik distribusi beban yang diterima <i>asperity</i> dan pelumas dengan kondisi pembebanan yang berbeda pada kasus 1.....	38
Gambar 4.5	Grafik perubahan <i>surface roughness</i> dengan kondisi pembebanan yang berbeda pada kasus 2.....	39
Gambar 4.6	Grafik distribusi beban yang diterima <i>asperity</i> dan pelumas dengan kondisi pembebanan yang berbeda pada kasus 2.....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data eksperimen Wang and Wong. ....	33
Tabel 4.2	Perubahan $Ra$ dengan kondisi pembebanan yang berbeda pada kasus 1. ....	37
Tabel 4.3	Perubahan distribusi beban <i>asperity</i> dan pelumas akibat variasi pembebanan pada kasus 1 .....	38
Tabel 4.4	Perubahan $Ra$ dengan kondisi pembebanan yang berbeda pada kasus 2. ....	39
Tabel 4.5	Perubahan distribusi beban <i>asperity</i> dan pelumas akibat variasi pembebanan pada kasus 2 .....	40

## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
$A_e$	Area kontak pada deformasi elastis	[m <sup>2</sup> ]
$A_{ep}$	Area kontak pada deformasi elastis-plastis	[m <sup>2</sup> ]
$A_p$	Area kontak pada deformasi plastis	[m <sup>2</sup> ]
$A_r$	Area kontak aktual	[m <sup>2</sup> ]
$B$	Lebar roller	[m]
$C_t$	Faktor koreksi <i>thermal</i> untuk <i>film thickness</i>	[-]
$E_1$	Modulus elastisitas material roller 1	[MPa]
$E_2$	Modulus elastisitas material roller 2	[MPa]
$E_p$	Modulus elastisitas material ekuivalen	[MPa]
$f_c$	Koefisien gesek antar <i>asperity</i>	[-]
$F_C$	Beban yang diterima <i>asperity</i>	[N]
$F_H$	Beban yang diterima <i>fluid film</i>	[N]
$F_T$	Beban yang diberikan	[N]
$H$	Kekerasan material	[N/ m <sup>2</sup> ]
$h_c$	<i>Central film thickness</i>	[m]
$K_f$	Konduktivitas thermal pelumas	[W/mK]
$k_m$	<i>Dry wear coefficient</i>	[-]
$k$	<i>Wear coefficient for lubricated contact</i>	[-]
$L$	<i>Sampling length</i>	[m]
$R_1$	Jari-jari roller 1	[m]
$R_2$	Jari-jari roller 2	[m]
$R_a$	<i>Aritmetic average of asperity heights</i>	[m]
$R'$	Jari-jari ekuivalen	[m]
$u$	Jumlah kecepatan	[m/s]
$u_{rolling}$	Kecepatan <i>rolling</i>	[m/s]
$U_{dif}$	Kecepatan <i>sliding</i>	[m/s]
$\nu$	<i>Poisson's ratio</i>	[-]



$V$	<i>Worn volume</i>	$[m^3]$
$\dot{V}$	<i>Laju wear</i>	$[mm^3/s]$
$w$	<i>Interference</i>	$[m]$
$w_e$	<i>Interference pada titik awal luluh</i>	$[m]$
$w_p$	<i>Interference pada awal deformasi plastis</i>	$[m]$
$y_s$	Jarak antara tinggi rata-rata asperity dengan tinggi permukaan rata-rata	$[m]$
$z$	<i>Tinggi asperity</i>	$[m]$
$Z_{lub}$	<i>Viscosity-pressure index of lubricant</i>	$[-]$
$\alpha$	<i>Viscosity-pressure coefficient</i>	$[-]$
$\beta$	<i>Radius of asperity</i>	$[m]$
$\gamma$	<i>Temperatur-viscosity coefficient</i>	$[1/K]$
$\gamma_1$	<i>Scaling factor hydrodynamic</i>	$[-]$
$\gamma_2$	<i>Scaling factor asperity</i>	$[-]$